

外加剂对混凝土性能影响及优化研究

王 颖

浙江华超检测有限公司 浙江 杭州 310000

摘 要: 外加剂在混凝土工程中的应用日益广泛,对混凝土性能的改善起着关键作用。本文首先介绍了外加剂分类与作用机理,包括减水剂、引气剂等多种类型及其作用原理。接着阐述了外加剂对混凝土性能的影响,在工作性能上,减水剂、引气剂、缓凝剂各有特点;力学性能方面,减水剂提升强度,早强剂加速早期强度发展,复合外加剂可发挥协同作用;耐久性能上,引气剂、防水剂、防腐剂分别改善抗冻性、抗渗性和抗腐蚀能力。然后进行了优化研究,提出外加剂选择要依据工程要求、混凝土原材料和施工条件;复合使用需关注相容性;掺量优化要通过试验确定最佳掺量,且实际工程中要根据原材料性能、施工条件等因素调整,以充分发挥外加剂作用,提高混凝土性能,满足工程建设需求。

关键词: 外加剂;混凝土;性能影响;优化研究

引言:外加剂在混凝土工程中应用广泛,对混凝土性能改善作用关键。其种类多样,不同类型作用机理不同,合理使用可优化混凝土性能以满足多样工程需求。外加剂对混凝土工作性、力学、耐久性能均有影响,合理利用可提升各方面性能。同时,外加剂选择、复合使用及掺量优化对充分发挥其作用至关重要。本文围绕外加剂对混凝土性能影响及优化展开研究,为提高混凝土性能、满足工程建设需求提供参考。

1 外加剂的分类和作用机理

根据功能和用途,外加剂可分为减水剂、引气剂、缓凝剂、早强剂、防冻剂、膨胀剂等多种类型。减水剂是常用外加剂,能显著减少混凝土用水量,在混凝土中,水不仅参与水泥水化反应,还起到润滑作用使混凝土具有流动性,但用水量过多会降低强度,减水剂可解决这一问题,提高混凝土强度和工作性能,工作性能涵盖流动性、粘聚性、保水性等,良好的工作性能便于混凝土搅拌、运输、浇筑等施工操作。引气剂能在混凝土中引入大量微小气泡,在寒冷地区或经冻融循环的混凝土结构中,水分结冰膨胀会产生应力导致混凝土破坏,这些均匀分布的气泡可阻断混凝土内部毛细孔通道,减少水分蒸发和渗透,缓解冰胀压力,改善混凝土抗冻性和耐久性,耐久性关乎混凝土在长期使用过程中抵抗各种破坏因素的能力。缓凝剂能延长混凝土凝结时间,在大型工程或高温季节施工时,混凝土凝结过快会给施工带来困难,如浇筑不密实、出现冷缝等质量问题,缓凝剂通过与水泥中的某些成分发生化学反应,延缓水泥水化速度,使混凝土在较长时间内保持塑性状态,便于施工操作^[1]。早强剂能加速混凝土早期强度发展,在一些对工期要求紧迫的工程中,需要混凝土尽快达到一定强度以

进行后续施工,早强剂可促进水泥水化反应,加快水泥石早期强度发展,加快工程施工进度。不同类型外加剂作用机理不同,减水剂吸附在水泥颗粒表面,让水泥颗粒带相同电荷相互排斥,分散水泥颗粒,释放被包裹水分实现减水;引气剂在搅拌时产生微小气泡并均匀分布;缓凝剂与水泥成分反应延缓水化;早强剂促进水泥水化加速早期强度发展。合理使用外加剂可优化混凝土性能,满足不同工程需求。

2 外加剂对混凝土性能的影响

2.1 对混凝土工作性能的影响

减水剂、引气剂、缓凝剂对混凝土工作性能影响各有特点。减水剂加入可显著降低混凝土用水量,同时维持或提升流动性。其作用在于分散水泥颗粒,释放被包裹水分,增加混凝土自由水含量,进而提高流动性。此外,减水剂能减少泌水和离析现象,泌水会使混凝土表面水分过多,影响表面质量,离析则导致混凝土各组分分离,均匀性变差,而减水剂可解决这些问题,提升混凝土均匀性与稳定性。引气剂能在混凝土中引入大量微小气泡,这些气泡如同滚珠轴承,能减少混凝土颗粒间的摩擦力,从而提高流动性。同时,引气剂可改善混凝土和易性,和易性关乎混凝土搅拌、运输、浇筑等施工操作的难易程度,改善后混凝土更易振捣密实,降低施工难度,保证施工质量。缓凝剂可延长混凝土凝结时间,让混凝土在较长时间内保持塑性状态,利于施工操作^[2]。在大型工程中,混凝土浇筑量大,施工时间长,若凝结过快,后续施工无法顺利进行;高温季节施工时,环境温度高,混凝土水分蒸发快,水化反应加速,凝结时间缩短,易出现施工困难和质量问题,如浇筑不密实、表面裂缝等,缓凝剂能有效避免这些情况,确保施工正常

开展和混凝土质量稳定。

2.2 对混凝土力学性能的影响

(1) 减水剂对力学性能的影响, 减水剂可减少混凝土用水量, 降低水灰比, 水灰比是影响混凝土强度和密度的关键因素, 水灰比降低, 混凝土内部孔隙减少, 密实度提高, 强度也随之提升, 在水灰比相同条件下, 使用减水剂的混凝土强度显著高于不使用的, 同时减水剂能改善混凝土微观结构, 让水泥石更致密, 增强抗裂性与耐久性, 减少裂缝产生, 延长混凝土使用寿命。(2) 早强剂对力学性能的影响, 早强剂能加速水泥水化反应, 促进水泥石早期强度发展, 混凝土掺入早强剂后, 早期强度明显提高, 可缩短工程施工周期, 加快工程进度, 但早强剂使用可能影响混凝土后期强度发展, 若掺量过多, 后期强度增长可能受限, 甚至出现强度倒缩现象, 所以要合理控制掺量。(3) 复合外加剂对力学性能的影响, 复合外加剂是将不同类型外加剂复合使用, 能发挥协同作用进一步提升混凝土力学性能, 减水剂与早强剂复合, 减水剂减少用水量提高强度, 早强剂加速早期强度发展, 二者相互配合, 既保证混凝土早期具备足够强度满足施工要求, 又使混凝土后期强度稳定增长, 提高混凝土整体力学性能, 满足不同工程对混凝土强度和施工进度需求。

2.3 对混凝土耐久性能的影响

引气剂引入的微小气泡均匀分布在混凝土内部, 这些气泡可有效阻断混凝土内部毛细孔通道, 当水分蒸发和渗透时需绕过这些气泡, 导致水分移动路径变长、移动难度增大, 进而有效减少水分蒸发与渗透量, 提高混凝土抗冻性和抗渗性。在寒冷地区或常受冻融循环作用的混凝土结构中, 冻融循环会使混凝土内部水分结冰膨胀产生应力, 这种应力反复作用会导致混凝土出现破坏, 引气剂引入的气泡可起到缓冲作用, 缓解冰胀压力, 避免应力集中对混凝土造成损伤, 显著提升混凝土耐久性, 延长结构使用寿命^[3]。防水剂加入混凝土后能在混凝土表面形成一层连续且致密的防水膜, 这层防水膜如同屏障一般阻止水分渗透, 提高混凝土抗渗性, 同时防水剂可填充混凝土内部孔隙和裂缝, 减少水分和有害物质进入混凝土的通道, 改善混凝土内部结构密实程度, 进一步增强混凝土耐久性。在腐蚀性环境如海洋、化工环境中, 混凝土结构易受腐蚀介质侵蚀, 氯离子、硫酸盐等腐蚀介质会与混凝土中的水泥水化产物发生化学反应, 导致混凝土膨胀、开裂、强度降低, 影响结构安全性和耐久性, 防腐剂能在混凝土表面形成保护膜阻止腐蚀介质渗透, 还能与混凝土中某些成分发生化学反应生成致密防腐层, 填充混凝土内部缺陷, 提高混凝土抗腐蚀能力, 保护混凝土

结构免受腐蚀破坏, 确保其在恶劣环境下的长期稳定性和安全性。

3 外加剂的优化研究

3.1 外加剂的选择原则

(1) 依据工程要求选择不同工程对混凝土性能要求存在差异, 高层建筑和大跨度桥梁这类对强度要求高的工程需选择能提升混凝土强度的外加剂, 减水剂可降低水灰比提高混凝土密实度进而提升强度, 早强剂能加速水泥水化过程促进混凝土早期强度发展, 以满足工程对结构承载能力和早期施工进度的要求; 寒冷地区混凝土结构要求抗冻性好, 引气剂引入的微小气泡可阻断混凝土内部毛细孔通道, 减少水分渗透, 提高混凝土抗冻融循环能力, 此时应选引气剂来保障混凝土在低温环境下的耐久性。(2) 按混凝土原材料选择, 原材料性能对外加剂效果影响较大, 水泥品种和标号不同其矿物组成和化学成分有差异, 对外加剂适应性不同, 如硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥等对减水剂的敏感度不同, 所以要选择与之相适应的外加剂以保证减水效果和混凝土性能; 砂石质量差, 含泥量高、级配不好等会影响混凝土性能, 需选能改善砂石性能的外加剂, 如可改善砂石表面状态、提高砂石与水泥黏结力的外加剂, 以增强混凝土内部结构的稳定性。(3) 根据施工条件选择, 施工条件是重要因素, 高温季节施工混凝土水分蒸发快易过早凝结, 影响施工操作和混凝土质量, 应选用缓凝剂延长混凝土凝结时间, 保证施工顺利进行^[4]。低温季节施工混凝土易受冻且早期强度发展慢会延长工期, 此时要选用早强剂和防冻剂, 早强剂加速混凝土早期强度发展, 防冻剂降低混凝土冰点防止受冻, 确保混凝土在低温下正常硬化。总之只有综合考虑工程要求、混凝土原材料和施工条件等因素合理选择外加剂才能充分发挥外加剂作用提高混凝土性能满足工程建设需求。

3.2 外加剂的复合使用技术

外加剂对混凝土性能影响显著, 在混凝土工作性能方面, 减水剂可降低用水量提升流动性、减少泌水离析, 引气剂引入气泡改善和易性, 缓凝剂延长凝结时间有利于施工; 在力学性能上, 减水剂降低水灰比提高强度, 早强剂加速早期强度发展, 复合外加剂发挥协同作用提升整体性能; 耐久性能中, 引气剂提高抗冻抗渗性, 防水剂形成防水膜改善密实度, 防腐剂增强抗腐蚀能力。优化研究涵盖选择、复合使用及掺量调整, 选择外加剂需综合工程要求, 如高层建筑选减水剂、早强剂提升强度, 寒冷地区选引气剂提高抗冻性; 按混凝土原材料, 不同水泥品种、标号对适应性不同, 砂石质量差需选改

善性能的外加剂；根据施工条件，高温选缓凝剂，低温选早强剂和防冻剂^[5]。复合使用外加剂关注相容性，不同类型外加剂化学成分和作用机理不同，混合可能发生反应影响效果，如产生沉淀降低减水效果、使混凝土过度缓凝或促凝，因此复合使用前要进行相容性试验，检测流动性、凝结时间、强度发展等性能变化。掺量优化通过试验确定最佳值，正交试验可同时考虑多因素影响，单因素试验侧重研究单一因素变化，实际工程中根据原材料性能、施工条件等调整，不同水泥品种、标号对外加剂适应性不同，砂石质量、含泥量影响效果，施工环境温度、湿度变化时掺量也需改变。通过科学选择与使用外加剂，可提升混凝土性能，满足多样化工程建设需求，推动混凝土技术持续发展，为建筑工程质量与安全提供有力保障。

3.3 外加剂掺量的优化

(1) 掺量对混凝土性能的影响，外加剂掺量对混凝土性能影响显著，掺量不足时，外加剂无法充分发挥作用，难以达到改善混凝土性能的预期效果。如减水剂掺量不够，不能有效分散水泥颗粒，无法充分降低水灰比，混凝土强度提升不明显，工作性能改善也有限；早强剂掺量过低，对水泥水化反应的促进作用微弱，混凝土早期强度发展缓慢，无法满足工程对施工进度的要求。而掺量过多则会产生诸多弊端，不仅增加工程成本，还会对混凝土性能造成不利影响。减水剂掺量超量，混凝土易出现离析、泌水现象，导致混凝土内部结构不均匀，强度降低，耐久性变差；早强剂掺量过大，会使混凝土早期水化反应过于剧烈，后期强度发展缺乏后劲，甚至可能因内部应力过大而出现开裂问题，严重影响混凝土结构的安全性和使用寿命。(2) 掺量优化的方法，确定外加剂最佳掺量需开展大量试验研究，可采用正交试验、单因素试验等方法。正交试验能同时考虑多个因素对混

凝土性能的影响，通过合理安排试验方案，以较少试验次数获取较全面的信息，找出各因素对混凝土性能影响的主次顺序，确定最佳掺量组合；单因素试验则侧重于研究单一因素变化对外加剂作用效果及混凝土性能的影响，从而明确该因素的最佳掺量范围。此外，实际工程中，还需根据混凝土原材料性能、施工条件等因素对掺量进行适当调整。不同品种和标号的水泥对外加剂适应性不同，砂石质量、含泥量等也会影响外加剂效果，施工环境温度、湿度等条件变化时，外加剂掺量也需相应改变，以确保混凝土性能稳定可靠。

结束语

综上所述，外加剂对混凝土性能影响重大，在工作性能、力学性能和耐久性能方面均发挥关键作用。合理选择外加剂需综合考量工程要求、混凝土原材料及施工条件；复合使用要关注相容性；掺量优化要通过试验确定最佳值，并结合实际工程调整。通过科学运用外加剂，可有效提升混凝土性能，满足多样化工程建设需求，推动混凝土技术发展，为建筑工程质量与安全提供坚实保障。

参考文献：

- [1]曾小星,余其俊,韦江雄,陈辽广.外加剂及掺合料对灌注桩混凝土性能的影响研究[J].新型建筑材料,2025,52(5):61-66.
- [2]唐茂刚,张建峰,刘东生.不同外加剂对抗冲磨混凝土性能的影响研究[J].四川水力发电,2025,44(5):1-6+20.
- [3]桑超,闵永涛,樊李浩,蒋玉娇,等.矿物外加剂对低热水泥抗冲耐磨混凝土性能影响研究[J].长江工程职业技术学院学报,2025,42(1):1-6.
- [4]白静静,袁媛,李宇鹏,杨沫,等.外加剂及纤维对泡沫混凝土的性能影响研究[J].中国水泥,2025(S1):44-48.
- [5]李式龙.混凝土外加剂对混凝土性能的影响及应用研究[J].江苏建材,2025(5):27-28+36.